



**RISORSE DISPONIBILI E METODOLOGIE DI
RECUPERO DEGLI INERTI DI RIFIUTO NELLA
COSTRUZIONE DEI SOLIDI VIARI**

Silvia Portas

Dipartimento di Ingegneria del Territorio - Università degli Studi di Cagliari
Piazza D'Armi 14, 09123 Cagliari
Tel: +39 070.6755266 - fax: +39 070.6755266
E-mail: sportas@unica.it

Federico Fele

Dipartimento di Ingegneria del Territorio - Università degli Studi di Cagliari
Piazza D'Armi 14, 09123 Cagliari
Tel: +39 070.663090
E-mail: federico.fele@tin.it

Francesco Annunziata

Dipartimento di Ingegneria del Territorio - Università degli Studi di Cagliari
Piazza D'Armi 14, 09123 Cagliari
Tel: +39 070.6755256 - fax: +39 070.6755266
Tel: 070/6755256 - fax: 070/6755266
E-mail: annunz@unica.it

METODOLOGIE DI RECUPERO DEGLI INERTI DI RIFIUTO NELLA COSTRUZIONE DEI SOLIDI VIARI

SILVIA PORTAS - Dipartimento di Ingegneria del Territorio - Università degli Studi di Cagliari

FEDERICO FELE - Dipartimento di Ingegneria del Territorio - Università degli Studi Di Cagliari

FRANCESCO ANNUNZIATA - Dipartimento di Ingegneria del Territorio - Università degli Studi Di Cagliari

SOMMARIO

Si fa sempre più pressante a livello europeo l'esigenza di gestire in maniera ottimale i materiali da discarica. In particolare, la Commissione Europea nell'ambito della gestione dei rifiuti (COM(96)399) ha stabilito una scala gerarchica da seguire, che prevede fondamentalmente quattro punti: *la prevenzione*, da attuare attraverso la minimizzazione della produzione di rifiuti e di sfruttamento dei materiali naturali; *il recupero*, da attuare attraverso il riciclaggio dei materiali nella loro applicazione tecnica più elevata; *l'incenerimento*, per recuperare energia e diminuire contemporaneamente i volumi di discarica; *la discarica*, che deve essere considerata come ultima risorsa.

La progettazione e la costruzione dei solidi viari ben si inserisce nel tema dell'utilizzo dei "materiali alternativi", in quanto contribuisce direttamente ad attuare i due punti principali della strategia Comunitaria: *la prevenzione* e *il recupero*. Infatti, l'utilizzo dei materiali alternativi, in sostituzione di parte degli aggregati naturali, fa sì che contemporaneamente si riduca sia lo sfruttamento di aggregati naturali e sia la quantità di materiale di rifiuto da portare a discarica.

Nonostante le indicazioni di carattere politico ed economico, attualmente la quantità di materiale alternativo impiegato è ridottissima. La causa del suo non impiego va ricercata proprio nel fatto che questi materiali sono considerati "rifiuti", e quindi, di qualità inferiore. Altri fattori non trascurabili che incidono sul loro sfruttamento sono anche la mancanza di opportune strutture per il trattamento degli inerti di rifiuto e in generale l'elevato costo del trasporto e la mancanza di normative specifiche sulle loro modalità d'impiego.

Con questo studio sono stati, inizialmente, valutati i dati quantitativi relativi alla produzione dei materiali di inerti di rifiuto, sulla base di uno studio recentemente condotto dall'ANPAR (Associazione Nazionale Produttori Aggregati Riciclati), con lo scopo di ottenere un valutazione attendibile della dimensione del problema. Si è quindi proceduto ad individuare e definire le modalità per la loro gestione e trattamento. Vista l'incidenza del costo del trasporto sul costo ultimo del riutilizzo di questi inerti è stato affrontato il problema della pianificazione della dislocazione degli impianti di trattamento.

ABSTRACT

Throughout Europe there is the pressure to increase the use of wasting materials. This is reflected in the hierarchy of waste disposal options set out by the European Commission in the *Community Strategy for Waste Management* (COM(96)399): *prevention*, minimise wasting production and use of natural materials; *recovery*,

recycling of materials at the highest possible technical level; *incineration*, to recover energy and minimise volumes that have to be deposited; *disposal in landfill*.

Designing and constructing road infrastructures using “alternative materials” will allowed to actuate *prevention* and *recovery*. In particular, it will be reduce the amount of natural aggregates consumed and the amount of material that otherwise be despised as a waste.

Actually, the amount of waste material recovered is very few. This is partly due to the perception of such materials as being “waste” and hence inferior; and partly the high transport cost, due to their location.

Thus, the amount of inert materials produced throughout Italy were carried out to define the dimension of the problem. Afterward, management treatment procedures were analysed.

1. INTRODUZIONE

La politica ambientale in materia di rifiuti, promulgata della Comunità Europea, ed ora parte integrante della politica italiana, è andata progressivamente rivedendo il concetto di “*disinquinamento*”. In particolare, si va progressivamente abbandonando una politica di smaltimento dei rifiuti, che vedeva il disinquinamento esclusivamente attraverso specifiche reazioni chimiche, fisiche o meccaniche che al più avevano la capacità di ridurre e non eliminare completamente il rifiuto. L’esperienza ha dimostrato, con il passare degli anni, che i materiali smaltiti ingeneravano processi inquinanti e nuovi consumi energetici. Si è quindi data una nuova lettura del problema articolata nelle seguenti fasi:

- minimizzazione della produzione di rifiuti e di sfruttamento dei materiali naturali e ottimizzazione del recupero;
- riciclaggio dei materiali nella loro applicazione tecnica più elevata;
- recupero di energia e diminuzione dei volumi di discarica;
- discarica come ultima risorsa.

Questa lettura è piuttosto recente; infatti, è stata introdotta al livello europeo con le direttive 91/156/CEE e 91/689/CEE, e trasferita in Italia con il D.Lgs n. 22 del 1997 [1].

Riportandoci, quindi, nel campo della progettazione e della costruzione delle infrastrutture viarie, guardando il problema sia dal punto di vista prettamente pratico, caratteristiche dei materiali e metodologie costruttive, che dal punto di vista dell’impatto ambientale, apertura di cave di prestito e di discarica, è possibile individuare il ruolo che esso assume nel processo di *prevenzione* e *recupero*, da attuare attraverso, l’utilizzo dei materiali alternativi, in sostituzione di parte degli aggregati naturali.

Il presente studio è stato quindi mirato, in primo luogo alla quantificazione dei materiali di rifiuto. In particolare, sono stati presi in esame i materiali provenienti da costruzioni e demolizioni in campo civile, in quanto gli scarti provenienti da queste lavorazioni sono costituiti per lo più da materiali inerti. La loro quantificazione si è resa necessaria per definire l’entità del problema e, soprattutto, per verificare la loro effettiva fruibilità.

Il secondo passo è stato quello di individuare le tecniche di trattamento per il riutilizzo di questi materiali e la dislocazione degli impianti di trattamento più idonea.

Infine, si è posta l’attenzione sui metodi di accettazione dei materiali basandosi sulle indicazioni della normativa italiana.

2. CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI DA RIFIUTO

Prima di entrare addentro al problema appare necessario esporre brevemente le caratteristiche dei materiali da rifiuto che sono stati oggetto del presente lavoro. Tutta l'attenzione è stata rivolta ai materiali di rifiuto provenienti esclusivamente da processi di demolizione e costruzione. La loro composizione è estremamente variabile, in particolare, essa è influenzata dai seguenti fattori:

- localizzazione geografica e materie disponibili;
- tipologie tecniche e costruttive locali;
- prodotti edilizi disponibili (in funzione dello sviluppo tecnologico della zona);
- clima.

Di conseguenza si possono trovare i valori medi di composizione piuttosto differenziati non solo tra i diversi Stati, ma anche tra regioni diverse di uno stesso Stato. Perciò, non potendo considerare una composizione tipica né una percentuale media di composizione, vengono identificate le “componenti chiave” dei C&DW, distinguendo tra rifiuti da costruzione e rifiuti da demolizione:

2.1. RIFIUTI DA COSTRUZIONE

Le principali cause di produzione dei rifiuti da costruzione sono legate al trasporto e alla consegna dei materiali, allo stoccaggio, alla movimentazione di cantiere, ai lavori di adattamento dimensionale, alla preparazione di eccessive quantità, ad errori di fissaggio, operazioni di taglio, cattivo uso dei materiali, atti vandalici, etc. La principale caratteristica di questi rifiuti è quella di essere costituiti da materiale molto eterogeneo. Le “componenti chiave” sono le seguenti:

- legname utilizzato per impalcature e ponteggi o per interni;
- materiali plastici di diverso tipo;
- metalli e leghe;
- imballaggi e contenitori vuoti;
- sfridi di materiali sintetici, cioè moquette, materiali isolanti e coibentanti;
- calcestruzzo;
- laterizi;
- conglomerati e misti bituminosi;
- amianto;
- vernici;
- terra di scavo;
- gesso e cartongesso;
- vetro e lana di vetro;
- pietra derivante dall'escavazione di fondamenta.

2.2. RIFIUTI DA DEMOLIZIONE

I rifiuti da demolizione sono costituiti generalmente da materiale omogeneo. L'omogeneità è un fattore molto importante che influenza in maniera determinante la qualità del materiale riciclato. Le “componenti chiave” sono le seguenti:

- laterizi (mattoni, tegole e altro materiale di varia forma usato per le costruzioni di tetti, solai, etc.);
- calcestruzzo;
- asfalto (in caso di demolizioni stradali).

- Troviamo poi, anche se in percentuale molto ridotta, tutte le altre componenti presenti nei rifiuti da costruzione. Pur essendo difficile, quindi, valutare la composizione dei rifiuti da C&D, a causa proprio della loro variabilità, esistono in letteratura alcune stime sui materiali da demolizione che ne valutano la composizione media. Purtroppo, la classificazione dei rifiuti è spesso diversa da Paese a Paese; infatti i valori vengono riferiti come percentuale del totale dei rifiuti presi in considerazione e l'insieme degli scarti di C&D considerati è diverso nei vari Stati, rendendo così i dati poco confrontabili.

La seguente Figura 2-1 e la Tabella 2-1 mostrano, con riferimento ai dati di produzione, la disomogeneità di distribuzione, in termini di quantità, dei diversi materiali nelle diverse nazioni prese in esame.

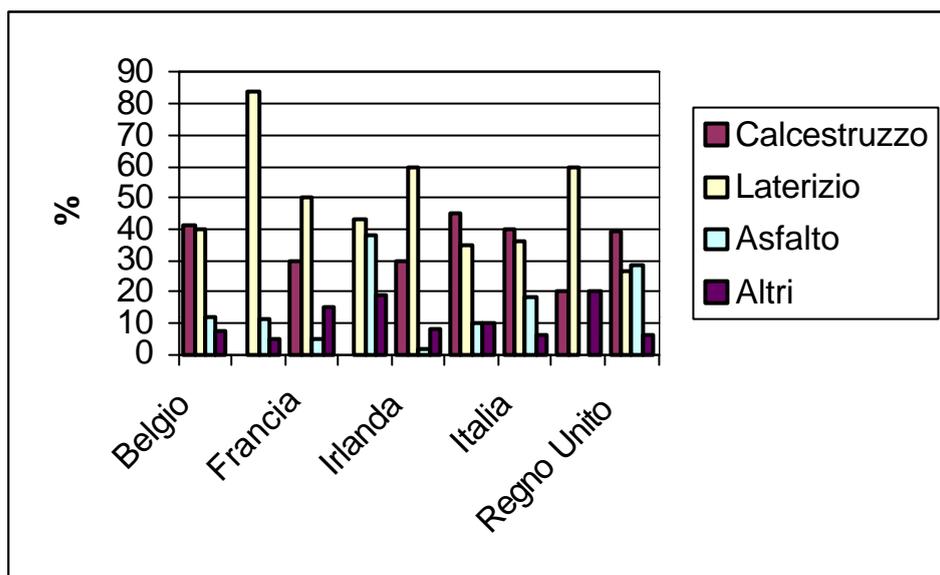


Figura 2-1 - Distribuzione percentuale della produzione di rifiuti per nazione

Tabella 2.1 - Composizione percentuale media in peso del rifiuto di demolizione in Italia, Danimarca, Germania e Stati Uniti [2]

Paese	Danimarca	Germania	Italia	U.S.A.
Calcestruzzo non armato	83,3%	-	10%	77%
Calcestruzzo armato	-	40%	20%	-
Laterizi (tegole, mattoni forati)	-	47%	50%	4,5%
Asfalti	-	-	5%	-
Scavi	-	-	6%-10%	-
Legno	12,5%	7%	-	11%
Carta e cartone	0,2%	-	0,6%-4%	-
Plastica	0,4%	4%	-	0,3%
Metallo	2,5%	-	3%	3,2%
Gesso	-	-	-	4%
Inerte	-	2%	-	-
Varie	0,6%	-	1-1,4%	-

La determinazione della esatta composizione merceologica dei rifiuti è un dato fondamentale, sia per la corretta progettazione delle diverse fasi di trattamento, sia per determinare la presenza di impurezze che limitano la capacità d'uso dei materiali riciclati. Esistono, infatti, alcune tipologie di materiali impiegati nell'edilizia che

possono essere classificate come pericolose per la salute dell'uomo. A solo titolo esemplificativo, queste sostanze sono state elencate nella Tabella 2-2 [3].

Tabella 2.2 - Esempi di sostanze pericolose nei materiali da C&D [3]

Sostanze pericolose	Utilizzo nell'ambito delle costruzioni
Asbesto	Isolamento tubazioni, equipaggiamenti ventilazione, componenti soffitto, componenti copertura tetto
Cadmio	PVC, plastica, vernici
Cromo	Vernici
Zinco	Grondaie
Piombo	Tubazioni, fili elettrici, vernici
PVC – Plastica	Tubazioni, installazioni elettriche, rivestimento pareti e pavimenti, porte, finestre, etc.
Asfalto	Copertura tetti, superfici stradali, isolamento
Legno impregnato	Legno da costruzione esterno
PBC	Liquido isolante
Mercurio	Installazioni termiche

3. QUADRO LEGISLATIVO NAZIONALE E COMUNITARIO

I rifiuti provenienti dalle attività edilizie sono indistintamente individuati quali "rifiuti di costruzioni e demolizioni" secondo quanto riportato dal Catalogo Europeo dei Rifiuti e recepito dal D.Lgs. n.22 del 5 febbraio 1997[1].

L'Italia ha seguito l'evoluzione della legislazione europea in materia di rifiuti (direttiva 75/442/CEE) a partire dal DPR 915/82. Tale Decreto Presidenziale prevedeva fra i principi generali la promozione di sistemi tendenti a *riciclare, riutilizzare i rifiuti o recuperare* da essi materiali ed energia.

Nel 1984 con Delibera dello specifico Comitato Interministeriale si assiste al primo tentativo, sul piano normativo, di sganciare le *materie seconde* dal regime dei rifiuti; ma di fatto occorre attendere la Legge 475/88 recante "*Disposizioni urgenti in materia di smaltimento di rifiuti industriali*" per l'introduzione nell'ordinamento nazionale del concetto di *materie prime secondarie* (MPS), definite come "*residuo derivante da processi produttivi e suscettibile di essere utilizzato come materia prima in altri processi produttivi delle stesse o di altra natura*".

Nel 1990 la Corte Costituzionale emette una sentenza che colpisce alcuni articoli della legge 475/88 fra cui quelli relativi al ruolo degli Enti Locali in attività di dichiarazione e di comunicazione, impedendo di fatto l'applicazione della stessa.

Contestualmente a questo "vuoto" normativo nazionale, a livello comunitario si assiste all'emanazione di due importanti Direttive in materia di rifiuti, la 91/156/CEE sui rifiuti e la 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi, entrambe tese a *promuovere le attività di riciclaggio dei rifiuti*.

In Italia la scelta effettuata in condizioni di straordinaria necessità e urgenza è quella di reintrodurre *un regime giuridico diversificato per rifiuti e residui* con il DL 443/93, che ha fatto da normativa "ponte" in attesa del recepimento delle Direttive di cui sopra. L'attuazione delle direttive sopraccitate avviene con il D.Lgs. n.22 del 5.2.1997, noto come Decreto Ronchi.

Il Decreto Ronchi, Legge Quadro che disciplina il settore dei rifiuti, ha inteso riorganizzare la normativa in materia di rifiuti, mantenendo solo alcuni degli strumenti normativi emanati nel corso dei quindici anni precedenti. I principi generali contenuti nel Decreto stabiliscono le seguenti priorità nella gestione dei rifiuti: prevenzione al fine di ridurre la produzione iniziale di rifiuti, oltre che la loro pericolosità; recupero al fine

di ridurre lo smaltimento finale, inteso in termini di recupero di materia ed energia; smaltimento inteso come fase residuale della gestione dei rifiuti.

In termini di definizioni il Decreto recepisce sostanzialmente quelle contenute nella Direttiva Comunitaria 91/156/CEE, mentre, in materia di competenze, Stato, Regioni, Province assolveranno rispettivamente funzioni di indirizzo e coordinamento, programmazione, controllo.

I produttori di rifiuti sono tenuti a fornire corrette informazioni di tipo quali-quantitativo, mentre per quanto riguarda lo smaltimento devono assolvere agli obblighi con le seguenti priorità:

- autosmaltimento;
- conferimento a terzi autorizzati;
- conferimento al servizio pubblico;
- esportazione (opportunamente autorizzata).

Il Decreto Ronchi individua poi le condizioni per l'autorizzazione alla realizzazione di impianti di smaltimento e di recupero di rifiuti. In particolare, sono previste procedure semplificate per talune operazioni di gestione dei rifiuti per le quali sarà sufficiente la sola comunicazione alla Provincia. Il Ministero dell'ambiente ha emanato ed emanerà norme tecniche, quali linee guida per le procedure in ogni settore di produzione dei rifiuti.

4. QUANTIFICAZIONE DEI RIFIUTI DA C&D

Il presupposto irrinunciabile di un'adeguata politica di gestione dei rifiuti inerti è la quantificazione dei volumi prodotti. Quindi, il primo scopo della ricerca è stato quello di definire il più compiutamente possibile un limite inferiore di produttività specifica. A tale, scopo si è fatto riferimento ad una zona d'attività edilizia omogenea, del Nord Italia. Partendo poi dai risultati ottenuti, si è proceduto a definire, per ciascuna delle tre macro realtà produttive italiane (Nord, Centro e Sud), un range di valori attendibili di produttività specifica e di seguito, una stima a livello nazionale della produzione di C&DW.

Si è scelto di definire un valore soglia, in quanto, in Italia, sono difficilmente quantificabili i flussi, non trascurabili, di rifiuti che non seguono le forme lecite di smaltimento e recupero.

E' estremamente difficile un'analisi accurata sulla produzione di rifiuti da costruzione e demolizione nella quale siano considerate tutte le variabili caratterizzanti il fenomeno.

In primo luogo per tali rifiuti, i dati reperibili, relativi ai conferimenti in discariche autorizzate o in impianti di trattamento, sottostimano pesantemente l'effettiva produzione poiché si rileva esclusivamente quel flusso di materia che segue il percorso legittimo. Si possono sicuramente individuare almeno altri due flussi aventi ordini di grandezza non trascurabili. Il primo flusso è quello del materiale conferito in discarica non autorizzata mentre il secondo nasce dalla pratica comune, soprattutto nelle medie imprese, di recuperare direttamente all'interno dei propri cantieri i rifiuti prodotti o stocarli temporaneamente e riutilizzarli in un secondo tempo. Nell'ambito, inoltre, delle microristrutturazioni domestiche in conto proprio, si osserva la pratica del conferimento improprio dei detriti alla rete del servizio pubblico di raccolta dei rifiuti urbani per un volume, pari circa allo 1% del totale in peso [4].

4.1. METODOLOGIE DI STIMA

La stima dei quantitativi e della composizione dei rifiuti da C&D si può basare su due metodologie differenti, definite rispettivamente metodo input e metodo output.

Il primo è basato sulla valutazione della produzione edilizia, sulla registrazione dei materiali utilizzati nella costruzione degli edifici, sulla determinazione della vita utile media d'ogni singola tipologia di costruzione e della valutazione della quantità specifica di rifiuti prodotti in fase di demolizione. È un metodo induttivo che stima il quantitativo atteso o potenziale di rifiuti [3].

L'altra metodologia di stima è un metodo deduttivo basato sulla registrazione dell'effettiva produzione di rifiuti nelle fasi di costruzione e demolizione. E' evidente che l'accuratezza del metodo è subordinata alla possibilità di disporre di dati prossimi al 100%, diversamente fornisce sempre una stima per difetto, mentre quello input, generalmente, ne produce una per eccesso [3].

Entrambi sono stati usati in ambito europeo ed i coefficienti di produttività specifica sono stati valutati pari a 800 kg/ab*anno per la Danimarca (usando il metodo input) e per l'Olanda a 530 kg/ab*anno (facendo uso del metodo output).

E' stata effettuata la stima utilizzando il metodo deduttivo e, il reperimento dei dati è avvenuto in sede di smaltimento dei rifiuti, rilevando, quindi un valore sottostimato legato alla differenza fra il volume prodotto e quello conferito.

E' stato fatto riferimento al Catalogo Europeo dei Rifiuti per indicare le categorie di rifiuto che sono state oggetto d'indagine. Esse sono le seguenti: CER 170501 e CER 170701 (rispettivamente definite dal Catalogo Europeo dei Rifiuti "terra e rocce" e "rifiuti misti di costruzione e demolizione"). Sono state scelte, principalmente, per le seguenti ragioni:

- epurare dal gruppo CER 17.00.00 le restanti categorie di rifiuto permette di trascurare quelle legate a realtà locali;
- sono le meglio correlabili alla popolazione residente perché, per queste, ci si può attendere una omogeneità di produzione;
- oltre ad essere le più rappresentative del gruppo 17.00.00 (per quantità sono pari a circa l'80% del totale del gruppo e al 70% del totale conferito agli impianti), provengono, con grande probabilità, dal comparto edilizio [D. Piacentini, 1989].

In ultima analisi, si osserva che è il comparto delle microristrutturazioni quello che contribuisce quasi integralmente alla produzione di macerie: a tale comparto corrisponde infatti una fetta del mercato delle demolizioni del 92% [CRESME, 1996] e solo il 10% dei rifiuti prodotti proviene dalla fase di costruzione [Jacobsen, 1992].

Al fine di ricavare un valore massimo del limite inferiore di produttività specifica, sono state studiate disgiuntamente le due categorie di rifiuto definendo, per ciascuna, un coefficiente di produzione parziale. Tale valore soglia rappresenterà la produzione pro capite annua dei rifiuti da cantiere edilizio.

I rifiuti da C&D rappresentano un sottoinsieme del gruppo CER 170000 e questo, dei rifiuti inerti; il valore stimato nella ricerca potrà essere anche considerato, quindi, come misura della produttività per i rifiuti inerti, in genere, sottostimata, ma certa.

La raccolta dei dati è stata eseguita all'interno delle seguenti imprese di trattamento: A.R.E.A di Navacchio di Cascina (Pisa), C.Li.R.I di Livorno, Ecoter di Corbetta (Milano) ed Inert.eco di Santo Stefano di Magra (La Spezia).

Dalle indagini svolte sono stati ricavati i seguenti quantitativi, riportati in Tabella 4.1 suddivisi secondo la classificazione CER.

Tabella 4.1 - Chilogrammi di rifiuti conferiti ai vari impianti aggregati per codice CER

Codice CER	A.R.E.A.	C.Li.R.I.	EcoTer	Inert.eco	Descrizione rifiuto
170101	3.397.900	2.141.720	1.180.000	24.033.520	cemento
170102	127.440	0	10.000	2.860	mattoni
170103	402.318	41.800	3.470.000	0	mattonelle e ceramica
170104	1.900	0	440.000	0	materiali a base di gesso
170301	25.600	1.274.020	2.850.000	2.811.900	asfalto contenente catrame
170302	982.400	0	0	12.480	asfalto non contenente catrame
170405	99.880	0	0	0	rottame di ferro
170501	22.378.660	23.908.740	10.100.000	42.206.760	terra e rocce
170502	7.623.720	0	0	0	terra di dragaggio
170701	32.316.270	38.398.960	86.600.000	51.556.530	rifiuti misti di C&D
TOTALI	67.356.088	65.765.240	104.650.000	120.624.050	

L'elaborazione dei dati, aggregati per singolo impianto, ha fornito valori di produttività specifica, relativi ai soli 170501, molto distanti fra loro: da un minimo relativo alla Ecoter di *13 kg/ab*anno* ad un massimo di *287 kg/ab*anno* per la Inert.eco. Il valore relativo alla somma dei singoli bacini è nell'ordine dei *180 kg/ab*anno*. Le produttività specifiche relative alla tipologia CER 170701, invece, oscillano da un minimo di *199 kg/ab*anno* per Livorno ad un massimo di *460 kg/ab*anno* nel caso di Corbetta; se poi si considera il bacino medio costituito dalla somma dei singoli bacini si ottiene una produzione pro capite di *275 kg/ab*anno*.

Il valore stimato per la tipologia CER 170501, ricavato come media pesata delle produttività specifiche, rappresenta un valore minimo, ricavato solo dai dati sullo smaltimento, al di sotto del quale è improbabile che si attesti la produzione pro capite di "terre e rocce". Il valore proposto dall'ANPAR è di *195 kg/ab*anno*. Mentre, il coefficiente stimato per la tipologia CER 170701 rappresenta il valore esatto comprensivo dello smaltimento abusivo. Come produttività pro capite annua relativa alla tipologia CER 170701 si assume il valore di *510 kg/ab*anno*.

Tabella 4-2 Quantitativi e produttività parziali locali e medie valutate (quantità [kg]; coeff. di produttività [kg/ab*anno])

Codice CER	A.R.E.A.	C.Li.R.I.	EcoTer	Inert.eco	B. Medio
170501	18.470.300	21.027.130	379.400	29.829.493	69.876.824
170701	24.293.100	32.206.100	13.735.572	28.342.811	98.748.284
TOTALI	42.763.400	53.233.230	14.114.972	58.172.304	168.625.108
popolazione	92.379	161.673	29.846	103.782	387.680
Coefficiente. 05	200	130	13	287	180
Coefficiente 07	263	199	460	273	255
Coefficienti valutati	463	329	473	561	435

La produzione pro capite di rifiuti da C&D, essendo somma dei due valori suddetti, rappresenta ancora un valore minimo di produzione pro capite di “terre e rocce” e “rifiuti misti da costruzione e demolizione”. Il dato ottenuto è di circa *700 kg/ab*anno*.

All'interno del gruppo 170000 i rifiuti CER 170501 e CER 170701 sono sicuramente i più significativi, ma in proporzioni variabili e non livellabili perché legate a realtà produttive locali (ad esempio industrie ceramiche) e i dati raccolti, relativi a solo quattro impianti, non permettono di estrapolare un dato che le medi. Esaminando le percentuali dei C&DW all'interno del gruppo CER 170000 si osserva che variano fra il 77% e il 97%, in base alle quali si ricava un coefficiente di produttività minimo di *722 kg/ab*anno* e uno massimo di *910 kg/ab*anno*.

Estendendo le considerazioni appena esposte ai rifiuti inerti in genere e tenendo presente che il risultato è ancor più viziato dal carattere locale della ricerca effettuata, si osserva che le percentuali dei C&DW sui totali conferiti variano fra il 70% e l'85% alle quali corrispondono coefficienti di produttività compresi fra *820 kg/ab*anno* e *1000 kg/ab*anno* [5].

Tabella 4-3 Stima della produttività (in kg/ab*anno)

CER 17000		Rifiuti inerti	
Min	max	min	max
720	910	820	1000

5. METODOLOGIE DI RECUPERO

Lo smantellamento strutturale, o più semplicemente la demolizione di strutture realizzate in calcestruzzo e muratura, o di parti di esse, sta diventando una vera e propria disciplina specialistica della moderna ingegneria strutturale. In base alla loro finalità, i “progetti” di demolizione possono essere classificati in *progetti di trasformazione ambientale* e in *progetti di trasformazione strutturale*. Nel primo caso si richiede la demolizione totale del manufatto, mentre nel secondo è previsto l'abbattimento di una o più membrature del manufatto. La finalità di un progetto di demolizione non è univoca; spesso, infatti, la sua esecuzione garantisce ulteriori vantaggi. Un vantaggio sempre presente, eccetto il caso in cui si abbiano difficoltà di trasporto o nel caso di materiali contaminati, è rappresentato dalla possibilità di poter recuperare e riutilizzare il materiale proveniente dalla demolizione stessa.

La scelta del metodo di demolizione da utilizzarsi dovrà, perciò, essere condotta non solo in base alla struttura da demolire e al lavoro da eseguire, ma anche tenendo conto delle possibilità di riciclaggio del materiale di demolizione e dei successivi effetti ambientali. Il metodo di demolizione scelto può, pertanto, costituire un efficace strumento per migliorare la qualità dei rifiuti e per aumentarne la quantità di frazione riciclabile.

Un altro aspetto fondamentale è la possibilità di controllare nel luogo di produzione dei rifiuti la loro reale composizione, in modo tale da poter conferire ad un impianto di trattamento un materiale effettivamente inerte e scorporato da sostanze che possano inficiare il processo stesso di recupero. Adottando un protocollo standardizzato si ha, poi, la possibilità di garantire all'impianto partite di materiale di composizione pressoché costante. Si minimizzerebbe, dunque, il volume da smaltire, si massimizzerebbe quello recuperabile o riciclabile, si offrirebbe un materiale di composizione costante: condizione necessaria in un qualunque processo industriale per garantire un lavoro di prestazioni attese [6] [7].

5.1. LA DEMOLIZIONE SELETTIVA

La finalità di un progetto di demolizione non è univoca; spesso, infatti, la sua esecuzione garantisce ulteriori vantaggi. Un vantaggio sempre presente, eccetto il caso in cui si abbiano difficoltà di trasporto o nel caso di materiali contaminati, è rappresentato dalla possibilità di poter recuperare e riutilizzare il materiale proveniente dalla demolizione stessa. La scelta del metodo di demolizione da utilizzarsi dovrà, perciò, essere condotta non solo in base alla struttura da demolire e al lavoro da eseguire ma anche tenendo conto delle possibilità di riciclaggio del materiale di demolizione e dei successivi effetti ambientali. Il metodo di demolizione scelto può, pertanto, costituire un efficace strumento per migliorare la qualità dei rifiuti e per aumentarne la quantità di frazione riciclabile.

Un altro aspetto fondamentale è la possibilità di controllare nel luogo di produzione dei rifiuti la loro reale composizione, in modo tale da poter conferire ad un impianto di trattamento un materiale effettivamente inerte e scorporato da sostanze che possano inficiare il processo stesso di recupero.

Adottando un protocollo standardizzato si ha, poi, la possibilità di garantire all'impianto partite di materiale di composizione pressoché costante. Si minimizzerebbe, dunque, il volume da smaltire, si massimizzerebbe quello recuperabile o riciclabile, si offrirebbe un materiale di composizione costante: condizione necessaria in un qualunque processo industriale per garantire un lavoro di prestazioni attese.

In un'ottica di riciclaggio, il materiale di demolizione acquista valore quanto più è selezionato: quindi, una pratica di demolizione più selettiva comporta un prodotto secondario di maggior valore.

Oggi è dunque necessario pianificare le differenti fasi della demolizione:

- recuperare le attrezzature e gli impianti necessari;
- rimuovere tutto ciò che è possibile smontare;
- infine, demolire la struttura.

Mentre le prime due fasi sono manuali, l'ultima fase, giustamente detta di demolizione, è meccanica e richiede l'uso di attrezzature specifiche.

La buona riuscita di tale progetto di recupero e riciclo di materiale di demolizione è garantita qualora:

- tutti i prodotti di demolizione smantellati vengano collocati separatamente sul luogo con lo scopo di massimizzare il riciclaggio;
- ogni possibile danno all'ambiente venga minimizzato;
- il movimento dei macchinari e dei veicoli venga eseguito con particolare attenzione per evitare qualsiasi disturbo all'ambiente circostante;
- i temporanei accumuli di rifiuti presenti sul luogo vengano lasciati puliti e ordinati.

La demolizione selettiva comporta, però, dei costi aggiuntivi rispetto alle tecnologie di demolizione tradizionali, stimati dai danesi circa dal 10% al 20%.

Per tenere conto di questi costi aggiuntivi converrebbe, quindi, fissare dei nuovi regolamenti e politiche tariffarie in materia.

Il processo di riciclaggio può essere in due momenti:

- definizione delle tecnologie di riciclaggio
- ricerca delle possibilità di riutilizzo dei materiali trattati.

Le tecnologie di riciclaggio possono essere definite e valutate in termini tecnici ed economici, tenendo sempre conto delle opportunità di riutilizzo presenti sul mercato. Per rispondere a queste esigenze sono state sviluppate metodologie per definire le tecnologie ottimali di riciclaggio. Per alcuni materiali, come il vetro e i metalli, esistono già tecnologie di riciclaggio; in questo caso, il riciclaggio consiste in un semplice pretrattamento. Per altri materiali (p.e., plastica e materiali compositi), invece, le tecnologie di riciclaggio possono variare a seconda della composizione dello specifico materiale. Infine, per i materiali pericolosi, come l'amianto, si richiedono trattamenti specifici.

5.2. IL RECUPERO DEGLI ELEMENTI EDILIZI

Le strategie per recuperare i rifiuti vanno introdotte in fase di progetto: salvare materiali da una demolizione o ristrutturazione richiede un'attenta pianificazione per individuare i singoli componenti e la rimozione deve avvenire con le dovute precauzioni, al fine di evitare la mescolanza di parti utilizzabili e non. Questo può richiedere tempi lunghi di lavorazione, ma alcuni materiali recuperati hanno un certo valore e possono rappresentare un profitto se rimossi con cura; inoltre, quelli che non sono direttamente riutilizzabili possono, però, essere riciclabili. Infatti, il recupero degli elementi edilizi di un edificio da demolire può avvenire attraverso due operazioni ben distinte tra loro: il riutilizzo ed il riciclaggio.

La percentuale degli elementi edilizi da destinare all'una o all'altra forma di recupero, ricordiamo, dipende anche dalla tecnica di demolizione prescelta.

Analizziamo in dettaglio le due opportunità di recupero.

5.3. TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO DEI RIFIUTI DA C&D

Per poter definire affondo il problema del riuso dei materiali di rifiuto è risultato di fondamentale importanza approfondire il problema delle tecnologie di trattamento. In particolare, è stata posta tutta l'attenzione nei confronti di impiantistiche capaci di trattare il materiale in maniera tale da renderlo utilizzabile nel campo delle costruzioni delle infrastrutture. Gli studi condotti hanno messo in evidenza l'incidenza degli impianti di trattamento non solo per quanto riguarda le loro capacità di trattamento, ma è risultata di importanza strategica anche la loro localizzazione sul territorio.

Qui di seguito verranno esclusivamente presentate le tecnologie di trattamento più comuni.

Per quanto la composizione dei rifiuti da C&D sia variabile, il protocollo di trattamento è abbastanza costante. Il valore economico del materiale riciclato aumenta con la qualità del prodotto stesso ed è pertanto necessario trovare un compromesso tra l'efficienza di eliminazione delle impurezze e il costo, in termini di investimento e gestione, dell'impianto [8].

Qualunque tipologia impiantistica deve poter suddividere il materiale in entrata in tre flussi di materia:

- materiale lapideo riutilizzabile;
- frazione leggera (carta, plastica, legno, impurità);
- frazione metallica.

I passi comuni ai vari protocolli di trattamento sono i seguenti:

- frantumazione;
- classificazione;
- vagliatura;
- stoccaggio;
- trasporto.

Una prima classificazione degli impianti si basa sul numero di macchine di frantumazione presenti in serie in uno stesso ciclo di trattamento. Quelle che si trovano in commercio sono le seguenti:

- impianti a stadio singolo;
- impianti a due stadi;
- impianti a tre stadi.

Un'altra possibile classificazione è in base alla natura stessa dell'impianto. Esistono:

- impianti fissi;
- impianti semimobili;
- impianti mobili.

Gli impianti per il riciclaggio dei rifiuti da C&D sono inoltre distinti secondo [9]:

- tipo di disgregazione (frantumazione);
- unità di cernita di materiali estranei (vagliatura);
- costruzione degli impianti.

Si riportano di seguito lo schema di un impianto ad uno stadio e quello a due stadi.

Figura 5-1 Schemi di impianto di trattamento a singolo stadio

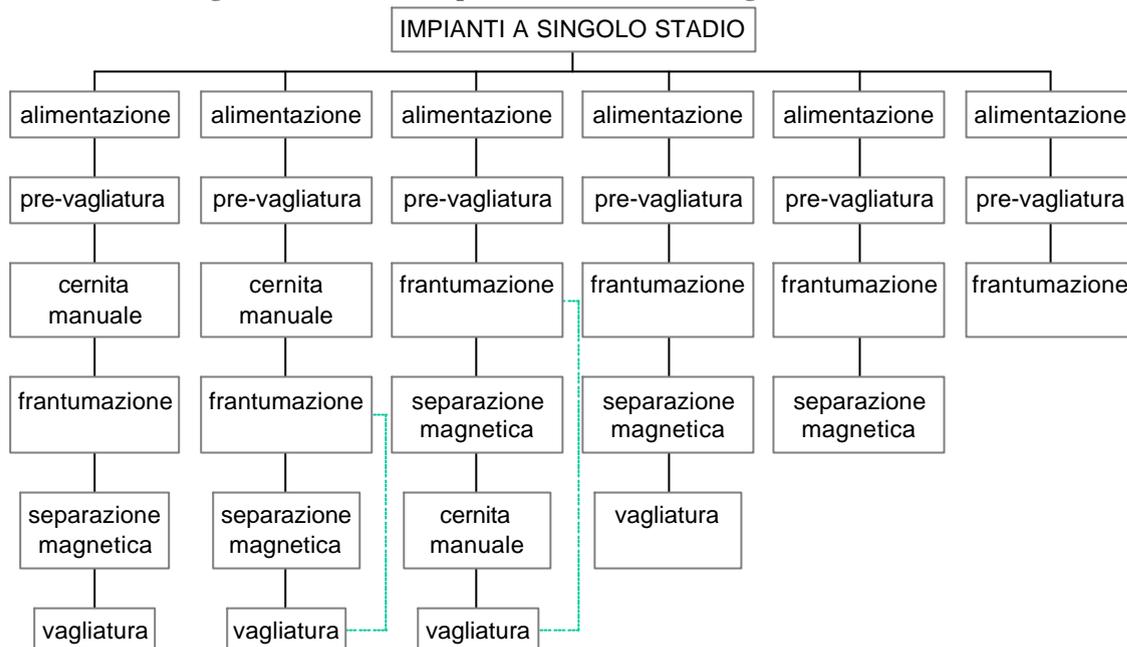
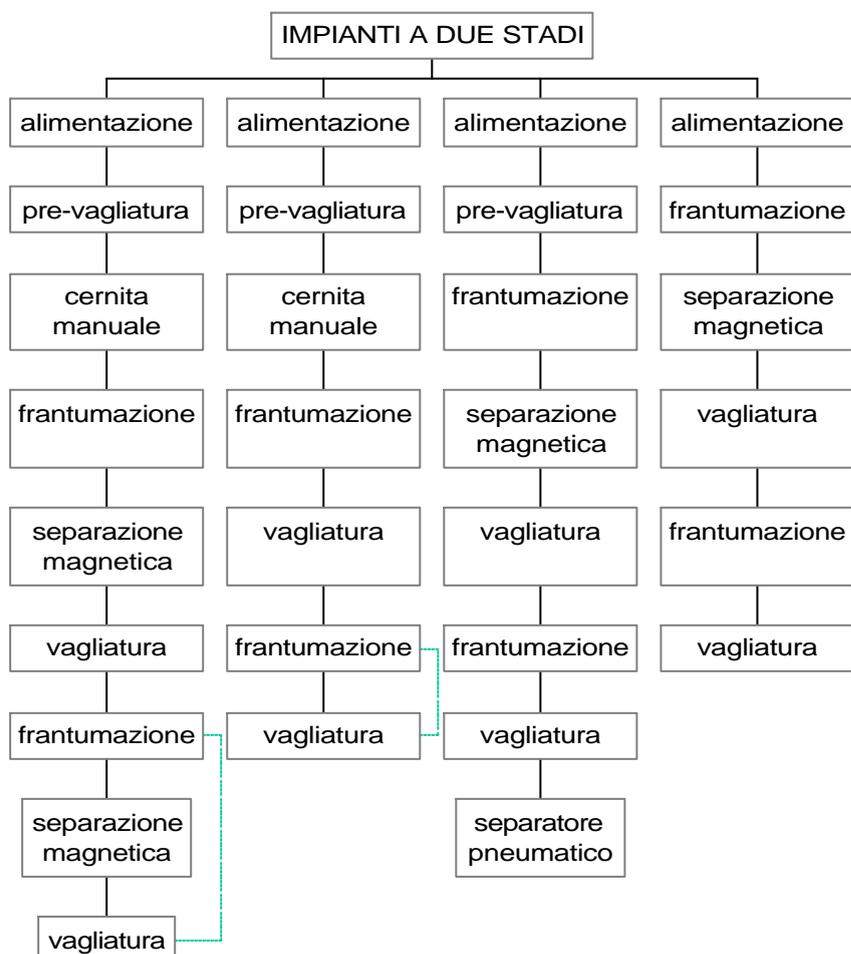


Figura 5-2 Schemi di impianto di trattamento a due stadi



6. PROTOCOLLI DI CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE

Le qualità richieste agli aggregati riciclati sono evidentemente differenti a seconda del loro campo d'impiego. Le più consolidate ipotesi d'utilizzo sono le seguenti:

- riempimenti e sagomature del terreno: il grado di purezza richiesto è abbastanza elevato anche se non assoluto; non sono necessarie particolari componenti granulometriche ed è tollerato, in minime percentuali, il materiale polverulento;
- sottofondi, rilevati e strati portanti della sovrastruttura stradale: il grado di purezza è analogo a quello precedente; è però necessario rispettare una precisa composizione granulometrica al fine di garantire la stabilità del rilevato;
- miscele per la confezione dei calcestruzzi: è necessario un elevato grado di purezza al fine di garantire la resistenza meccanica del calcestruzzo e la sua durabilità (non è, ad esempio, tollerabile la presenza di gesso); inoltre i fusi granulometrici sono ancora più restrittivi.

Al momento, a livello europeo, i primi due impieghi risultano essere i più frequenti. È opinione di numerosi studiosi che, in Italia, il più opportuno impiego sia nelle costruzioni stradali, perché le prestazioni meccaniche modeste richieste per rilevati e sottofondi sono ampiamente rispettate da materiali riciclati provenienti da impianti di trattamento fissi. È inoltre utile riferirsi alla "strada" come ad una "discarica a nastro" che permetta, tutelata la compatibilità ambientale e tecnica, di smaltire una serie di rifiuti che la normativa non riqualifica come bene economico succedaneo del tradizionale e, spesso, di esso più economico.

6.1. CARATTERIZZAZIONE TECNICA

In Italia è ormai da un decennio che si sottopongono ad indagini sperimentali i prodotti ricavati dal trattamento dei rifiuti provenienti da opere di costruzione e demolizione. Gli studi ai quali si è fatto riferimento sono essenzialmente tre:

- gli studi del Prof. ing. Cupo-Pagano aventi come oggetto gli aggregati riciclati provenienti dall'impianto ROSE di Spilamberto (MO);
- gli studi del Ing. Marrandi per conto della società AREA di Pisa, atti alla caratterizzazione dei materiali da loro stessi prodotti in impianto;
- gli studi del Prof. Crispino in relazione agli aggregati riciclati provenienti dall'impianto di trattamento Georisorse di Cislago (VA).

In particolare, le ricerche svolte dal Prof. Cupo-Pagano sono state condotte su due tipologie di rifiuti: "macerie" (ottenute dall'insieme di tutti i rifiuti solidi inerti, recuperati mediante un semplice stoccaggio differenziato) e "calcestruzzo" (ottenute, previa depurazione automatica delle armature, soltanto da calcestruzzi da demolizione e da scarti dell'industria della prefabbricazione dei manufatti cementizi). Si sono analizzati tre differenti assortimenti granulometrici (0-30, 0-70 e 0-130 mm) prodotti dall'impianto. Le prove di caratterizzazione che sono state eseguite si sono basate, fondamentalmente, su prove di identificazione e prove di caratterizzazione comportamentale, eseguite secondo le indicazioni delle norme UNI-CNR. L'ing. Marrandi ha svolto un'indagine sperimentale eseguendo prove di laboratorio e in situ su tre diversi tipi di campioni: granulari da riciclaggio, granulare naturale e terreno di sedime del campo prove. Le prove eseguite anche in questo caso erano state mirate ad una caratterizzazione fisica e meccanica del materiale.

Le prove di caratterizzazione eseguite dall'ing. M. Crispino per verificare l'opportunità di utilizzare questi materiali per la realizzazione di sottofondi, strati di fondazione e rilevati stradali, non si sono fermate alla caratterizzazione fisica e

meccanica del materiale, ma sono state indirizzate verso la valutazione di un possibile rilascio di sostanze organiche, nonché alla quantificazione di materiale deperibile sul peso totale della terra.

Dall'analisi dei vari protocolli si possono dedurre le caratteristiche che contraddistinguono i materiali in esame. Esse sono:

- l'equivalenza dei materiali alla classe CNR-UNI A-1a;
- l'appartenenza del materiale riciclato ai fusi granulometrici imposti per i vari impieghi;
- l'assoluta non criticità delle curve di compattamento (alla quale corrisponde la facilità di posa in opera in cantiere in condizioni ambientali sfavorevoli);
- l'assenza di umidità naturale (positiva per il risparmio sui costi di conferimento in cantiere);
- non sensibilità al gelo.

Aspetti indesiderati propri dei materiali riciclati sono:

- possibile presenza di sostanze estranee quali gesso proveniente da pennellature (può comprometterne l'utilizzo in conglomerati cementizi);
- indici di appiattimento non tollerabili (dovuti all'eccessiva presenza di mattoni forati e piastrelle: messi in opera possono provocare la formazione di vespai e di zone disomogeneamente costipate);
- eccessivo contenuto di fino in relazione anche alla sua continua formazione durante le fasi di costipamento.

Le esperienze condotte sinora su campioni reali, sia in campo nazionale che internazionale, hanno mostrato che nonostante la non perfetta rispondenza delle prove di laboratorio, l'impiego dei materiali riciclati nei vari strati del corpo stradale può essere ampiamente accettato. Inoltre, tutte le perplessità avanzate sono state sino ad oggi oramai superate dagli studi che hanno portato alla redigenda norma al vaglio della UNI.

In particolare, la compatibilità ambientale del materiale riciclato è un aspetto che merita la massima attenzione. Si osserva, infatti, che qualunque intervento, magari reclamizzato come ambientalmente corretto, può rivelarsi un disastro ambientale se non supportato da accurati studi che ne comprovino la non pregiudizialità ambientale nel tempo. La normativa di riferimento in questo campo è il Decreto Ministeriale del 5/2/1998, che fissa le modalità per l'impiego, fra gli altri, dei C&DW recuperati.

Il Decreto sancisce, in accordo alle direttive comunitarie, che la materia prima seconda debba fornire le medesime garanzie ambientali della materia prima corrispondente. Qualunque protocollo d'analisi dovrà essere strutturato in modo da permettere il confronto fra l'"inerzia" del materiale alternativo con quella del tradizionale corrispondente, intendendo come "inerzia" la proprietà dei materiali di non modificare la propria composizione, struttura e comportamento quando sollecitati da aggressioni chimiche, fisiche, etc.

7. CONCLUSIONI

La parte fondamentale di questo studio è stata quella di dare una dimensione al problema del riciclaggio in termini di stima di un indice di produttività minimo, quale punto di partenza per poter dimensionare gli interventi nel campo del riciclaggio in maniera accurata. Lo studio eseguito, sulla base dei dati a disposizione in letteratura e, soprattutto, dei dati censiti attraverso le dichiarazioni MUD, relativi a quattro bacini di utenza campione, ha portato alla stima di un indice di produttività che assume per i rifiuti individuati dai codici CER 17, valori compresi tra $720-910 \text{ kg/ab*anno}$ e, per la

tipologia “rifiuti inerti” che si pongono rispettivamente nell’intervallo di valori e 820-1000 kg/ab*anno.

La produzione annua così stimata di rifiuti inerti (nell’intervallo 38-46 milioni di tonnellate) risulta maggiore, circa il doppio, di quella oggi più riconosciuta a livello nazionale che è stimata nell’ordine di 20 milioni di tonnellate [5].

A questo punto risulta fondamentale che la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione diventi, anche grazie ad un’efficace azione della Pubblica Amministrazione, più trasparente e tale da far raggiungere un elevato livello di affidabilità agli attuali indici di produttività, del tipo “soglia minima”, per diventare questi sempre più reali ed estendibili ai bacini delle altre aree geografiche del Paese.

È altresì da notare che qualunque virtuosismo speculativo sia destinato ad essere un semplice divertissement se non supportato da strumenti applicativi di assoluta chiarezza.

Riflettendo dunque sugli aspetti generali che dovranno essere tenuti presenti all’interno di un’adeguata politica di gestione si dovrà in primo definire un impiego appropriato per ogni tipologia di rifiuto e assicurarsi che l’intervento presenti una valenza economica positiva: sarà, infatti, tale convenienza che ne assicurerà l’effettivo impiego perché il processo di sostituzione si autososterrà.

È da osservare, dato che un materiale riciclato, in genere, presenta qualità inferiori a quelle del materiale vergine da cui proviene, che si creerà un regime di concorrenza solo in quegli impieghi in cui il materiale vergine sia usato senza sfruttarne appieno le proprietà fisico-meccaniche.

Un secondo aspetto, emerso nello studio, è il ruolo determinante che svolge, all’interno della gestione dei rifiuti, l’impianto di trattamento, in quanto, oltre alla naturale azione di riqualifica in bene economico delle macerie, al suo interno sono concentrate le fasi di verifica della compatibilità ambientale in accordo con l’intento del legislatore di non demandare tale riscontro nelle successive fasi d’utilizzo che, disperse sul territorio, risulterebbero di difficile monitoraggio da parte degli operatori come anche dalle autorità di controllo.

Il terzo aspetto, forse il più importante, è quello di un’adeguata pianificazione territoriale: dato che l’aggregato è un materiale povero, solo un accurato studio di una rete di punti di raccolta dei rifiuti e di offerta di materiale riciclato determina le condizioni necessarie affinché si massimizzi il rendimento ambientale ed economico di un impianto di trattamento. A tal proposito, si ritiene opportuno che la localizzazione degli impianti avvenga nelle ATO (Aree Territoriali Omogenee) e che, quindi, sia la Pubblica Amministrazione ad operare le scelte logistiche più adeguate.

È utile, anche, ricordare che la nuova normativa italiana limita fortemente l’apertura di nuove cave e che, se si suppongono invariate le attuali tecnologie di estrazione, i costi unitari del materiale cavato tenderanno ad aumentare in risposta ad una domanda supposta costante con una risorsa sempre più rara. La distribuzione della domanda e dell’offerta non è affatto omogenea. Infatti, la domanda è massima vicino agli insediamenti urbani dove già il territorio è stato ampiamente sfruttato. Dato che il costo per l’utilizzatore finale del materiale lapideo dipende in larga misura dalla distanza della cava produttrice, esso è destinato ad aumentare costantemente. Se poi si osserva che neppure la produzione di macerie è distribuita in maniera omogenea sul territorio e che si hanno massimi nelle zone più popolate, si può azzardare un naturale processo di sostituzione fra il materiale cavato e quello trattato. È un’ipotesi non irrealistica considerando la possibilità di limitare fortemente i due problemi (lo smaltimento dei

rifiuti inerti e la domanda d'aggregato) in una condizione di assoluta valenza economica positiva.

È un po' come, passi la metafora, se fino ad adesso si fossero trasportate le cave all'interno della città e adesso fosse giunto il momento di iniziare a coltivarle [Fele, 2001].

8. BIBLIOGRAFIA

- [1]. **Decreto Legislativo** 5 febbraio 1997, n. 22, "Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio", *G.U.* n. 38 del 15 febbraio 1997;
- [2]. **BRESSI G.**, *Possibilità di riciclaggio delle macerie di origine edilizia*, in «RS - Rifiuti Solidi», n. 1, 1992, pp. 28-34;
- [3]. **JAKOBSEN J.B.**, *Quantitativi, composizione e riciclaggio dei rifiuti di costruzione e demolizione in Europa*, in «SR - Rifiuti Solidi», n. 2, 1992, pp. 81-84;
- [4]. **BRAS A.**, *Il quadro normativo comunitario e nazionale in tema di recupero dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione*, in Atti del Convegno "La gestione dei rifiuti di costruzione e demolizione", Rapporto 95/02, Milano 1 giugno 1995, pp. 24-30;
- [5]. **FELE F.**, *"Riciclaggio : una strada percorribile – Analisi della strategia di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione. Ipotesi d'impiego di aggregati riciclati in opere stradali"*, Università degli Studi di Cagliari, A.A. 2000/2001.
- [6]. **UNI, PROGETTO DI PRE-NORMA EDILIZIA**, *Demolizione di opere edilizie e di ingegneria civile: indicazioni progettuali ed esecutive*, febbraio 1998
- [7]. **UNI, PROGETTO DI PRE-NORMA EDILIZIA**, *Linee guida finalizzate alla riduzione dei rifiuti di costruzione e demolizione (C&D) nella progettazione di interventi edilizi*, maggio 1998;
- [8]. **CUPO PAGANO M.**, *Uno studio sperimentale sui materiali di scarto edilizio*, in «Dimensione strada», n. 2, marzo-aprile 1994;